

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



11002 U.S. PRO  
10/053446  
01/17/02  


## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 02 126.7  
**Anmeldetag:** 18. Januar 2001  
**Anmelder/Inhaber:** Wacker Siltronic Gesellschaft für  
Halbleitermaterialien AG, Burghausen, Salzach/DE  
**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen eines  
Einkristalls aus Silicium  
**IPC:** C 30 B 30/04

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 06. Dezember 2001  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Jerofsky

**Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen eines Einkristalls aus Silicium**

Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen eines  
5 Einkristalls aus Silicium, durch Ziehen des Einkristalls aus  
einer Schmelze, die in einem Tiegel enthalten ist und dem  
Einfluß eines magnetischen Wanderfelds ausgesetzt wird. Gegen-  
stand der Erfindung ist auch eine Vorrichtung, die geeignet  
ist, das Verfahren auszuführen.

10

In der DE-37 01 733 A1 ist ein Verfahren der genannten Art  
beschrieben. Der Einsatz des magnetischen Wanderfelds dient dem  
Zweck, den Einbau von Sauerstoff in den Einkristall zu  
verringern.

15

Die vorliegende Erfindung verfolgt demgegenüber andere und  
teilweise gegensätzliche Ziele. Sie betrifft ein Verfahren zum  
Ziehen von Einkristallen aus Silicium, die einen Durchmesser  
von mindestens 200 mm besitzen, insbesondere solche der  
20 modernsten Generation mit Durchmessern von 300 mm und darüber.  
Die Herstellung solcher Kristalle erfordert, daß eine Reihe von  
Problemen überwunden werden. Die Verbesserung der Ausbeute  
durch Verringern der Versetzungshäufigkeit ist eine der  
zentralen Aufgaben. Eine andere betrifft die Ziehgeschwin-  
digkeit, die aus Gründen der Produktivität möglichst hoch sein  
soll, andererseits jedoch nicht beliebig gesteigert werden  
kann, weil der Einkristall nicht bei jeder Geschwindigkeit in  
der gewünschten zylindrischen Form wachsen kann. Eine weitere  
Aufgabe besteht darin, die Erwartungen von Herstellern elektro-  
30 nischer Bauelemente erfüllen zu können, die die Konzentration  
von Sauerstoff im Einkristall in einem weiten Bereich vorgeben  
möchten. Das verlangt vom Hersteller des Einkristalls, daß er  
in der Lage muß, vergleichsweise hohe Konzentrationen an Sauer-  
stoff im Einkristall zu gewährleisten, wenn wegen der vorteil-  
35 haften Getterwirkung des Sauerstoffs solche Konzentrationen  
nachgefragt werden.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen eines Einkristalls aus Silicium, durch Ziehen des Einkristalls aus einer Schmelze, die in einem Tiegel mit einem Durchmesser von mindestens 450 mm enthalten ist, über dem ein  
5 Wärmeschilde angeordnet ist, wobei der Einkristall mit einem Durchmesser von mindestens 200 mm gezogen wird und die Schmelze dem Einfluß eines magnetischen Wanderfelds ausgesetzt wird, das im Bereich der Tiegelwand eine im wesentlichen vertikal ausgerichtete Kraft auf die Schmelze ausübt.

10 Gegenstand der Erfindung ist weiterhin eine Vorrichtung zum Ziehen eines Einkristalls aus Silicium, umfassend einen Tiegel mit einem Durchmesser von mindestens 450 mm, eine im Tiegel enthaltene Schmelze, eine um den Tiegel herum angeordnete  
15 Heizeinrichtung, einen über dem Tiegel angeordneten Hitzeschilde und eine Einrichtung zum Erzeugen eines magnetischen Wanderfelds, das im Bereich der Tiegelwand eine im wesentlichen vertikal ausgerichtete Kraft auf die Schmelze ausübt.

20 Wie die Erfinder festgestellt haben, können mit Hilfe der Erfindung Ausbeuteverbesserungen erzielt, Steigerungen der Ziehgeschwindigkeit vorgenommen, die Sauerstoffkonzentration im Einkristall erhöht und die Position eines OSF-Ringes bei vorgegebener Ziehgeschwindigkeit nach außen verlagert werden. Ein  
25 OSF-Ring ist ein ringförmiger Bereich einer aus dem Einkristall herausgetrennten Halbleiterscheibe aus Silicium, der als Grenze gilt, die zwei Defekttypen, nämlich Zwischengitterdefekte und Leerstellendefekte, voneinander trennt. Es ist vorteilhaft, wenn sich der OSF-Ring am Rand der Halbleiterscheibe befindet,  
30 weil diese dann nur noch von einem der beiden Defekttypen dominiert wird.

Das Verfahren hat einen weiteren Vorteil, der beim Impflingsziehen zum Tragen kommt, also in der Anfangsphase des  
35 Kristallziehens, während der ein Impfkristall mit der Schmelze in Kontakt gebracht und mit dem Kristallwachstum begonnen wird. Hierbei ist die Gefahr der Versetzungsbildung besonders groß. Es hat sich gezeigt, daß das magnetische Wanderfeld die

5 Versetzungshäufigkeit reduziert. Darüber hinaus ist das magnetische Wanderfeld auch beim Aufschmelzen von Silicium und beim Stabilisieren der Schmelze vor dem Impflingsziehen nützlich, da beide Vorgänge beschleunigt durchgeführt werden können. Gründe dafür sind eine bessere Durchmischung der Schmelze und geringere Temperaturfluktuationen in der Schmelze.

Überraschenderweise tritt der in der DE-37 01 733 A1 beschriebene Effekt der Sauerstoffverringerung beim Ausführen 10 der Erfindung gemäß einer ersten Ausbildungsform nicht auf. Vermutlich liegt das daran, daß beim Ziehen eines Einkristalls gemäß der DE-37 01 733 A1 die nach oben gerichtete thermische Konvektion durch Anlegen eines magnetischen Wanderfelds mit Kraftrichtung nach unten abgebremst wird. Die Konsequenz ist, 15 daß die für den Sauerstofftransport und den Einbau von Sauerstoff in den Einkristall ursächliche Strömungsgeschwindigkeit durch den Einfluß des Magnetfelds verlangsamt wird, und deshalb eine größere Menge an Sauerstoff in Form von SiO über die Schmelzenoberfläche entweichen kann und entsprechend weniger 20 Sauerstoff in den Einkristall eingebaut wird. Im Gegensatz dazu spielt bei der Erfindung nicht die Strömungsgeschwindigkeit, sondern vielmehr die Strömungsrichtung die entscheidende Rolle. Die Strömungsrichtung ist beim Ziehen eines Einkristalls mit einem Durchmesser von mindestens 200 mm aus einem Tiegel mit 25 einem Durchmesser von mindestens 450 mm beim Anlegen eines magnetischen Wanderfelds mit Kraftrichtung nach unten (erste Ausbildungsform der Erfindung) nicht mehr nach oben, zur Oberfläche der Schmelze gerichtet. Es bildet sich vielmehr eine Konvektion aus, die zunächst zum Tiegelboden hin und später zum 30 wachsenden Einkristall hin gerichtet ist. Dadurch wird Sauerstoff mit einer nahezu gleichbleibend hohen Rate in den wachsenden Einkristall eingebaut, obwohl ein Tiegel verwendet wird, der das Ausdampfen von SiO aus der Schmelze fördert, weil er eine vergleichsweise große freie Schmelzenoberfläche 35 ermöglicht, obwohl ein Hitzeschild verwendet wird, der das Ausdampfen von SiO aus der Schmelze fördert, weil er die Temperatur der Schmelzenoberfläche erhöht und obwohl ein Gasstrom zur Schmelzenoberfläche geführt werden kann, der das

Ausdampfen von SiO aus der Schmelze fördert, weil er das austretende SiO ständig abtransportiert. Entsprechend wird auch gefunden, daß der Einbau von Sauerstoff in den Einkristall verringert werden kann, wenn die Kraftwirkung des magnetischen 5 Wanderfelds im Bereich der Tiegelwand nach oben gerichtet ist. (zweiten Ausbildungsform der Erfindung).

Die Erfindung wird nachfolgend mit Hilfe von Figuren näher beschrieben. Bei Fig.1 handelt es sich um die schematische 10 Schnittdarstellung einer besonders bevorzugten Vorrichtung zum Ziehen eines Einkristalls. Fig.2 zeigt ein Diagramm, bei dem die Amplitude niederfrequenter Temperaturfluktuationen in der Schmelze gegen die Intensität des an die Schmelze gelegten, 15 magnetischen Wanderfelds aufgetragen ist. Fig.3 zeigt eine Betrachtung der Sauerstoffkonzentration im gezogenen Einkristall in Abhängigkeit der Position des Einkristalls in Längsrichtung bei vier Einkristallen, die erfindungsgemäß, aber nach verschiedenen Varianten der Erfindung gezogen wurden. Fig.4 zeigt den Radius des OSF-Ringes in Abhängigkeit der Ziehgeschwindigkeit bis zu einer maximal möglichen Ziehgeschwindigkeit, 20 wobei das Verfahren gemäß der Erfindung mit bisher üblichen Verfahren verglichen wird.

Die Vorrichtung gemäß Fig.1 umfaßt einen Rezipienten 6, in dem 25 ein Tiegel 8, eine Einrichtung 4 zum Beheizen des Tiegels und eine Isolierung 5 untergebracht sind. Die Isolierung schirmt die Wand des Rezipienten gegen die Strahlungswärme der Heizeinrichtung 4 ab und bildet ein Lager für einen Hitzeschild 3, der über dem Tiegel angeordnet ist. Der Hitzeschild schirmt den 30 wachsenden Einkristall 2, der aus einer im Tiegel enthaltenen Schmelze 1 gezogen wird, thermisch ab und dient auch als Führungsbegrenzung für einen von einer Einrichtung 9 zugeführten Gasstrom, der zur Oberfläche der Schmelze gerichtet ist und von der Schmelze ausdampfendes Siliciumoxid aus dem Bereich 35 über dem Tiegel fortspült. Es kommen insbesondere Inertgase wie beispielsweise Argon oder Stickstoff und Mischungen solcher Gase in Frage, wobei auch Wasserstoff als Bestandteil des Gasstroms anwesend sein kann. Der Tiegel besitzt einen Durchmesser

von mindestens 450 mm und erzeugt somit eine vergleichsweise große freie Schmelzenoberfläche.

Um den Rezipienten 6 herum sind zwei oder mehrere Spulen einer magnetischen Einrichtung 7 angeordnet, die mit elektrischem Wechselstrom versorgt werden, so daß die Schmelze im Tiegel unter den Einfluß eines magnetischen Wanderfelds gerät. Die Wand des Rezipienten muß mindestens im Bereich zwischen der magnetischen Einrichtung und der Schmelze für das Magnetfeld durchlässig sein. Dies kann gewährleistet werden, indem die Frequenz des Feldes niedrig gewählt wird oder die Wand des Rezipienten aus elektrisch schlecht leitendem Material, beispielsweise Quarz oder Keramik, ausgebildet ist. Die Anordnung der magnetischen Einrichtung außerhalb des Rezipienten ist zwar aus Platzgründen bevorzugt, jedoch nicht zwingend notwendig. Die magnetische Einrichtung kann daher auch zwischen dem Tiegel und der Heizeinrichtung angeordnet sein und es besteht außerdem noch die Möglichkeit, die Heizeinrichtung beispielsweise als spiralförmigen Mehrphaseninduktor auszubilden, der die Funktion der magnetischen Einrichtung zusätzlich erfüllt, so daß eine separate magnetische Einrichtung nicht benötigt wird.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung umfaßt die magnetische Einrichtung 7 drei Spulen, die an eine 3-Phasen-Stromversorgung angeschlossen sind. Die Spulen können sowohl in Stern- als auch in Dreieckschaltung angeschlossen sein. Durch eine entsprechende Wahl der Reihenfolge der Anschlussleitungen wird magnetisches Wanderfeld erzeugt, das im Bereich der Tiegelwand eine nach unten oder eine nach oben gerichtete Kraft auf die Schmelze ausübt. Die Anschlüsse der Spulen haben zweckmäßigerweise eine Phasenlage mit der Reihenfolge 0°-60°-120° oder 0°-120°-240°, wobei die letztere bevorzugt ist. Die vom Magnetfeld in der Schmelze hervorgerufene Kraft ist im Bereich der Tiegelwand beispielsweise nach unten, zum Boden des Tiegels gerichtet (erste Ausbildungsform der Erfindung), wenn die untere Spule mit 0°-Phase, die mittlere Spule mit 120°-Phase und die obere Spule mit 240°-Phase angeschlossen ist. Die

Kraft ist nach oben gerichtet (zweite Ausbildungsform der Erfindung), wenn die Phasenlage der unteren und der oberen Spule vertauscht ist. Die Windungszahl der Spulen beträgt typischerweise 20 bis 40 Windungen je Spule und ist vorzugsweise bei allen oder bei mindestens zwei der verwendeten Spulen die selbe. Die Intensität des an die Schmelze angelegten Magnetfelds beträgt vorzugsweise 1 bis 15 mT, entsprechend einer Zahl von ungefähr 800 bis 12000 Amperewindungen.

10

Wie das nachfolgende Beispiel 2 belegt, ist bei einer nach unten gerichteten Kraftwirkung des Magnetfelds der Einbau von Sauerstoff in den Einkristall erhöht. Ist die vom Magnetfeld hervorgerufene Kraft entgegengesetzt, also nach oben gerichtet, so ist der Einbau von Sauerstoff geringer. In beiden Fällen jedoch führt der Einfluß des magnetischen Wanderfelds zu einer Ausbeuteverbesserung, die ihren Grund in einer Dämpfung niederfrequenter Temperaturfluktuationen hat, obwohl solche Fluktuationen in Tiegeln mit Durchmessern von mindestens 450 mm besonders ausgeprägt sind und durch die Verwendung eines Hitzeschildes noch verstärkt werden. Dies ist ein überraschendes Ergebnis, zumal die Konvektion in der Schmelze beim Anlegen eines magnetischen Wanderfelds mit der Intensität des Magnetfelds zunimmt und Geschwindigkeitsfluktuationen stärker werden. Offensichtlich sind jedoch gerade die niederfrequenten Temperaturfluktuationen für Versetzungen verantwortlich, die die Ausbeute erniedrigen.

Beispiel 1:

30 Es wurde eine Vorrichtung gemäß Fig.1 mit drei Spulen mit 36, 40 und 36 Windungen verwendet, die mit  $0^\circ$ - $120^\circ$ - $240^\circ$  Phasenlage angeschlossen waren. Die Temperatur der Schmelze wurde mit eingetauchten Thermoelementen gemessen. Der verwendete Tiegel hatte einen Durchmesser von 14'' und enthielt 20 kg Silicium.

35 Fig.2 zeigt, wie niederfrequente Temperaturfluktuationen in der Schmelze mit steigender Intensität des Magnetfelds abnehmen. Eine Intensität von 6 mT entspricht einer Stromstärke von 81 A.

Beispiel 2:

Es wurde eine Vorrichtung gemäß Fig.1 mit drei Spulen mit jeweils 20 Windungen eingesetzt. Die Stromstärken betrugen 350 A in jeder Spule, entsprechend einer Zahl von 7000 Amperewindungen. Der verwendete Quarzriegel hatte einen Durchmesser von 24'' und enthielt ausreichend Silicium, um einen Einkristall mit einem Durchmesser von 300 mm ziehen zu können. Es wurden vier Einkristalle unter nahezu gleichen Bedingungen gezogen. Unterschiedlich waren nur die Frequenz und die Richtung der Wanderungsbewegung des Magnetfelds. Fig.3 macht deutlich, daß der Einbau von Sauerstoff in den Einkristall deutlich höher ist, wenn die vom Magnetfeld hervorgerufene Kraft nach unten gerichtet ist. Hingegen wirkt sich eine Frequenzänderung nur geringfügig auf die Sauerstoffkonzentration im Einkristall aus.

15

Beispiel 3:

Es wurden mehrere Einkristalle mit einem Durchmesser von 300 mm unter verschiedenen Bedingungen und mit unterschiedlichen Ziehgeschwindigkeiten gezogen, wobei die Ziehgeschwindigkeiten bis zu einer Geschwindigkeit gewählt wurden, die gerade noch das Ziehen eines Einkristalls mit der gewünschten runden Form ermöglichen. Es wurden vier grundsätzlich unterschiedliche Ziehbedingungen untersucht, und zwar übliche Bedingungen ohne Anwendung eines Magnetfelds, Bedingungen, bei denen die Schmelze unter dem Einfluß eines statischen, sogenannten CUSP-Feldes stand und erfindungsgemäße Bedingungen mit wanderndem Magnetfeld mit nach unten (-) oder nach oben (+) gerichteter Kraft. Für Versuche, die unter erfindungsgemäßen Bedingungen erfolgten, wurde eine Vorrichtung gemäß Fig.1 mit einem Spulensystem gemäß Beispiel 2 eingesetzt. Der verwendete Tiegel hatte in allen Fällen einen Durchmesser von 28''. Fig.4 zeigt, daß die höchsten Ziehgeschwindigkeiten mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zu erreichen sind, wobei es am vorteilhaftesten ist, wenn das magnetische Wanderfeld eine nach unten gerichtete Kraft auf die Schmelze ausübt. Ebenso wird unter diesen Bedingungen die Lage des OSF-Rings am stärksten nach außen gedrängt.

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zum Herstellen eines Einkristalls aus Silicium, durch Ziehen des Einkristalls aus einer Schmelze, die in einem Tiegel mit einem Durchmesser von mindestens 450 mm enthalten ist, über dem ein Wärmeschild angeordnet ist, wobei der Einkristall mit einem Durchmesser von mindestens 200 mm gezogen wird und die Schmelze dem Einfluß eines magnetischen Wanderfelds ausgesetzt wird, das im Bereich der Tiegelwand eine im wesentlichen vertikal ausgerichtete Kraft auf die Schmelze ausübt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Einkristall mit einer Konzentration an Sauerstoff von mindestens  $5 * 10^{17}$  Atome pro  $\text{cm}^3$  gezogen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Wanderfeld eine an der Tiegelwand hauptsächlich nach unten gerichtete Kraft auf die Schmelze ausübt.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das magnetische Wanderfeld eine an der Tiegelwand hauptsächlich nach oben gerichtete Kraft auf die Schmelze ausübt.
5. Vorrichtung zum Ziehen eines Einkristalls aus Silicium, umfassend einen Tiegel mit einem Durchmesser von mindestens 450 mm, eine im Tiegel enthaltene Schmelze, eine um den Tiegel herum angeordnete Heizeinrichtung, einen über dem Tiegel angeordneten Hitzeschild und eine Einrichtung zum Erzeugen eines magnetischen Wanderfelds, das im Bereich der Tiegelwand eine im wesentlichen vertikal ausgerichtete Kraft auf die Schmelze ausübt.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die das magnetische Wanderfeld erzeugende Einrichtung um den Tiegel herum angeordnet ist und weiter zum Tiegel beabstandet ist, als die Heizeinrichtung.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die das magnetische Wanderfeld erzeugende Einrichtung um den Tiegel herum angeordnet ist und näher zum Tiegel beabstandet ist, als die Heizeinrichtung.

5

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zum Erzeugen des magnetischen Wanderfelds mindestens zwei Spulen umfaßt.

10 9. Vorrichtung zum Ziehen eines Einkristalls aus Silicium, umfassend einen Tiegel mit einem Durchmesser von mindestens 450 mm, eine im Tiegel enthaltene Schmelze, eine um den Tiegel herum angeordnete Heizeinrichtung, die als spiralförmiger Mehrphaseninduktor ausgebildet ist, und einen über dem Tiegel 15 angeordneten Hitzeschild, wobei die Heizeinrichtung ein magnetisches Wanderfeld erzeugt, das im Bereich der Tiegelwand eine im wesentlichen vertikal ausgerichtete Kraft auf die Schmelze ausübt.

**Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen eines Einkristalls  
aus Silicium**

5

**Zusammenfassung:**

Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen eines Einkristalls aus Silicium, durch Ziehen des Einkristalls aus einer Schmelze, die in einem Tiegel mit einem Durchmesser von mindestens 450 mm enthalten ist, über dem ein Wärmeschild angeordnet ist, wobei der Einkristall mit einem Durchmesser von mindestens 200 mm gezogen wird und die Schmelze dem Einfluß eines magnetischen Wanderfelds ausgesetzt wird, das im Bereich der Tiegelwand eine im wesentlichen vertikal ausgerichtete Kraft auf die Schmelze ausübt. Gegenstand der Erfindung ist weiterhin eine Vorrichtung, die zum Durchführen des Verfahrens geeignet ist.

10  
15  
20

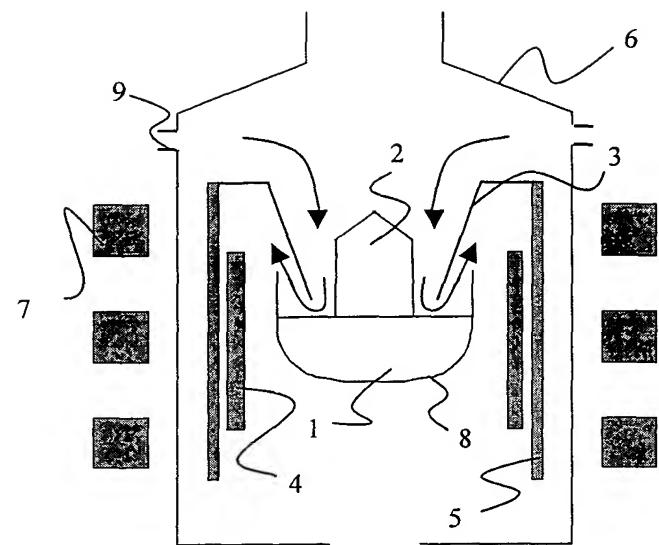


Fig.1

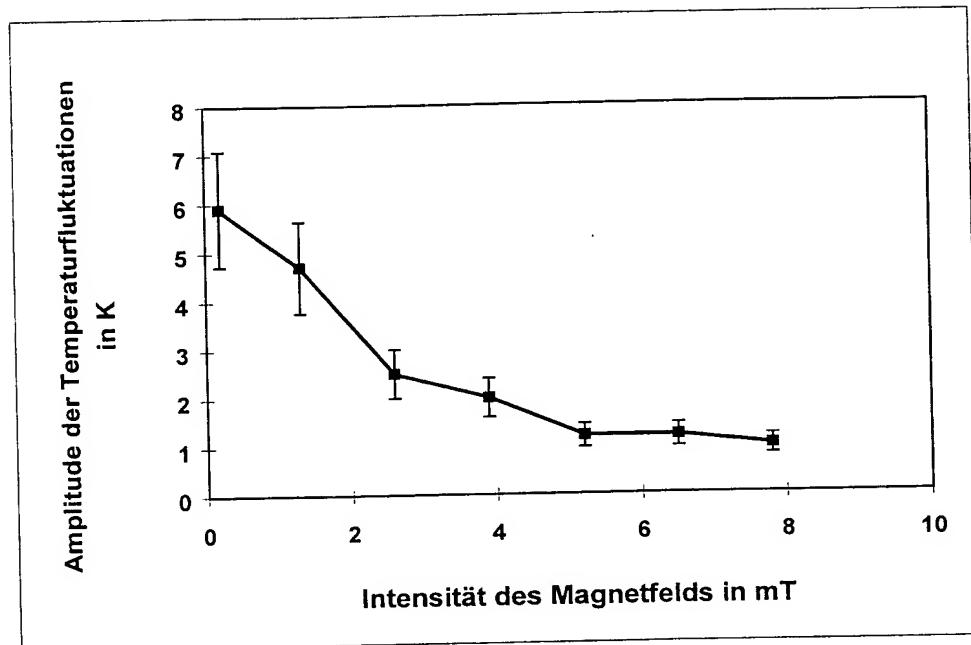


Fig. 2

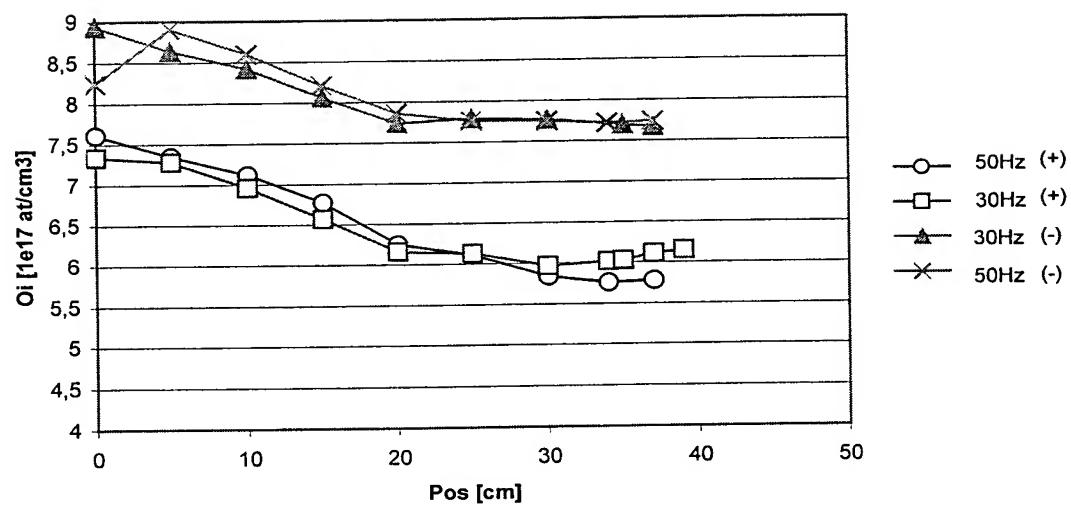


Fig. 3

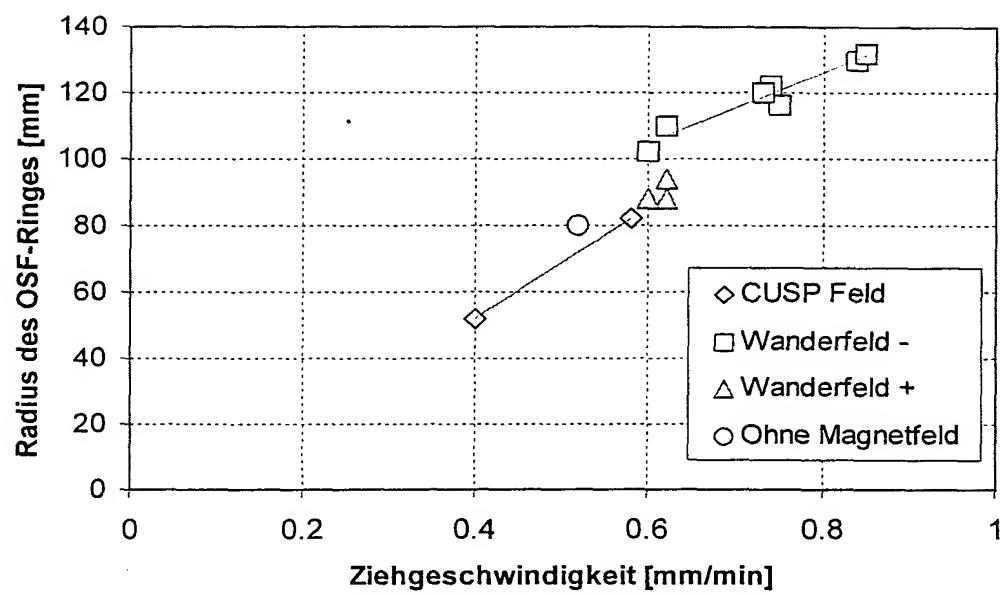


Fig. 4